# Thermokoppels

**In de industrie wordt men vaak geconfronteerd met temperaturen tussen -200 °C en +1.000 °C. Wilt u deze temperaturen meten, dan moet u gebruik maken van thermokoppels die dergelijke temperaturen goed verdragen en nauwkeurig meten.**


**Auteur:** Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
**Email:** josverstraten@live.nl


**Publicatiedatum:** 03-04-2017

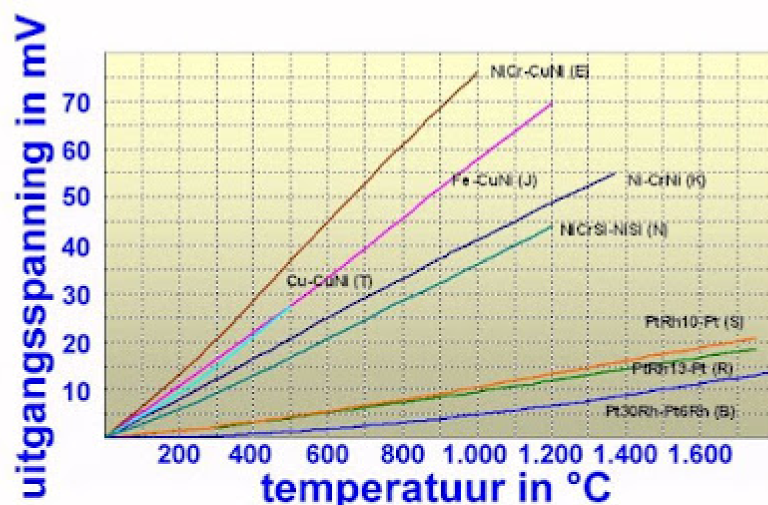

## De werking van een thermokoppel

**Het principe van een thermokoppel**
Een thermokoppel bestaat uit twee star aan elkaar verbonden draden die vervaardigd zijn uit twee verschillende metalen of metaallegeringen. Door het verschillend aantal vrije elektronen in de buitenste elektronenschillen ontstaat een potentiaal verschil op de plaats waar de twee metalen star aan elkaar bevestigd zijn. Dit potentiaal verschil uit onder de vorm van een zeer kleine spanning in het µV-bereik, die tussen de twee draden van het thermokoppel gemeten kan worden. Dit verschijnsel is in de fysica bekend onder de naam 'Seebeck-EMK'. '




*Een typisch thermokoppel. (Harke, Wikimedia Commons)*

**De grootte van de spanning**
De grootte van deze spanning is niet alleen afhankelijk van de twee legeringen waaruit de draden getrokken zijn, maar ook van de temperatuur. Het verband tussen temperatuur en de spanning over het thermokoppel is zelfs tamelijk lineair over een groot temperatuurbereik. Op deze manier kunt u vrij nauwkeurig zeer hoge en zeer lage temperaturen meten.



*Verband tussen temperatuur en Seebeck-EMK voor een aantal thermokoppels.*
*(Harke, Wikimedia Commons)*

**Soorten thermokoppels**
Door het toepassen van speciale legeringen voor de twee draden van het thermokoppel kan men het verband tussen de koppelspanning en de temperatuur verder lineariseren. Bovendien kan men door de keuze van geschikte combinaties van legeringen de waarde van de spanning zo hoog mogelijk opvoeren.
In de praktijk hebben zich vier combinaties als praktisch bruikbaar ontwikkeld:

- koper-constantaan;
- chromel-alumel;
- ijzer-constantaan;
- chromel-constantaan.

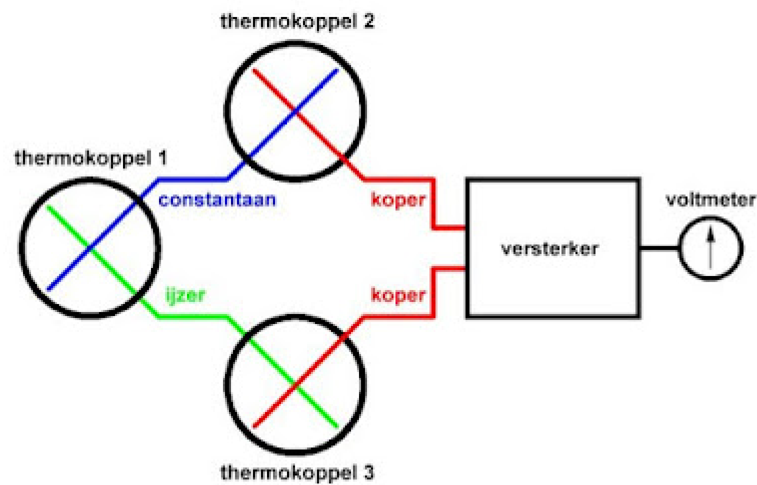
De specificaties van deze vier bruikbare thermokoppels zijn samengevat in onderstaande tabel:

| Legeringen | Temperatuurbereik | Spanning | ANSI-code |
|---|---|---|---|
| Koper-constantaan | -184 °C tot +400 °C | 44,5 μV/°C | T |
| Chromel-alumel | -184 °C tot +1.260 °C | 40,4 μV/°C | K |
| IJzer-constantaan | -184 °C tot +760 °C | 51,7 μV/°C | J |
| Chromel-constantaan | 0 °C tot +982 °C | 76,4 μV/°C | E |

**Gestandaardiseerde ANSI-codes**
De ANSI-codes T, K, J en E zijn internationaal gestandaardiseerd en worden overal in de industrie gebruikt. Men spreekt dan ook in de praktijk bijvoorbeeld van een type-K thermokoppel.

## Het koude las probleem

**Problemen ontstaan bij het aansluiten van een thermokoppel**
Bij het praktisch toepassen van een thermokoppel doet zich echter een enorm groot probleem voor. De twee draden van het thermokoppel moeten met 'iets' verbonden worden. Dat 'iets' is steeds een versterkerschakeling, die de uiterst kleine uitgangsspanning van het thermokoppel moet opkrikken. De ingangen van deze schakeling bestaan uit twee contactpunten van koper. Als u de twee draden van het thermokoppel star met deze koperen punten verbindt, dan ontstaan uiteraard op deze plaatsen twee nieuwe thermokoppels!

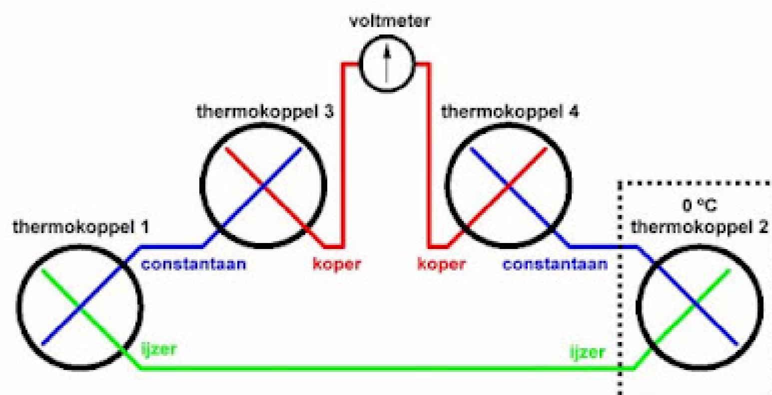



*Het koude las probleem. (© 2017 Jos Verstraten)*

Zoals uit dit schema blijkt, staan de drie thermokoppels in serie. Bij het toepassen van een type-J thermokoppel ontstaan twee niet gewenste thermokoppels, namelijk een ijzer-koper koppel en een constantaan-koper koppel. Het probleem is dat de koppelspanningen niet per definitie dezelfde polariteit hebben.
Maar bovendien is het absoluut uitgesloten dat zij alle drie op dezelfde temperatuur staan. In de meeste gevallen zullen de twee ongewenste thermokoppels 2 en 3 op de omgevingstemperatuur staan, die in industriële omstandigheden kan variëren tussen ongeveer -20 °C en +60 °C. De spanning die aan de ingang van de versterkerschakeling staat is dus niet alleen afhankelijk van de temperatuur die met thermokoppel 1 gemeten wordt, maar ook van de omgevingstemperatuur. Bovendien zullen de koppelspanningen die door de thermokoppels 2 en 3 worden gegenereerd de lineariteit van de meting nadelig beïnvloeden.

**Koude las compensatie**

Het is theoretisch onmogelijk de twee ongewenste thermokoppels uit de schakeling te verwijderen. Men moet dus een compensatiesysteem verzinnen. Men maakt gebruik van twee identieke thermokoppels, in dit geval ijzer-constantaan. Het koppel 1 is het meetkoppel dat op de te meten temperatuur staat. Het koppel 2 wordt op een constante temperatuur gehouden. In de meeste gevallen stelt men deze referentietemperatuur op 0 °C. De twee ongewenste thermokoppels, die ontstaan door het aansluiten van de sensor op het meetsysteem hebben nu, zoals duidelijk uit de tekening blijkt, dezelfde samenstelling, namelijk ijzer-koper. Bovendien staan deze thermokoppels in anti-serie geschakeld, zodat de koppelspanningen zich van elkaar aftrekken. Als men er voor zorgt dat beide thermokoppels steeds op dezelfde temperatuur staan, heeft men dus geen last van deze koppelspanningen. Zij zijn dan steeds even groot en elimineren elkaar.

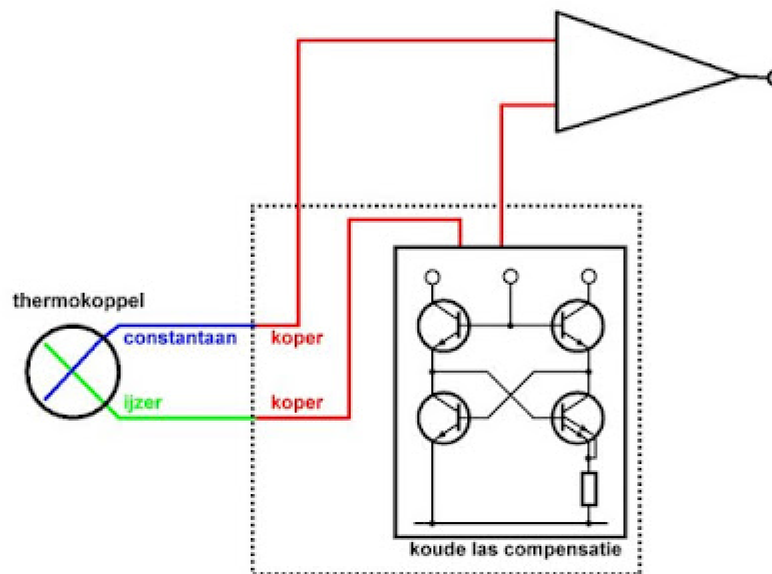



*Principe van de koude las compensatie. (© 2017 Jos Verstraten)*

**Het koude thermokoppel 2**

Vervolgens moet men uiteraard nog de aanwezigheid van het koude thermokoppel 2 in rekening brengen. Doordat dit koppel op een constante temperatuur staat zal ook de koppelspanning constant zijn. Zorgt men er bovendien voor dat de koppeltemperatuur gestabiliseerd blijft op 0 °C, dan is de uiteindelijke spanning alleen afhankelijk van de spanning die door het thermokoppel 1 wordt gegenereerd. Bovendien heeft men dan meteen een Celsius-schaal geïntroduceerd. Dat is logisch, want als het thermokoppel 1 op 0 °C staat, dan zal het volledige systeem 0 V genereren. Een temperatuur van 0 °C komt dus overeen met een uitgangsspanning van 0 V, zodat de meetschakeling rechtstreeks een meetinstrument met een Celsius-schaal kan aansturen.

**Elektronische koude las compensatie**
Het voorgestelde compensatieprincipe werd vroeger steeds toegepast. Maar uiteraard is het op een constante temperatuur van 0 °C houden van een thermokoppel niet erg praktisch. Gelukkig komt de elektronica daarbij ter hulp. Een IC-fabrikant als Analog Devices brengt IC's op de markt, die speciaal ontwikkeld zijn voor het elektronisch compenseren van de koude las problemen en het introduceren van een offset, zodat de uitgangsspanning precies 0 V bedraagt als het meetkoppel op 0 °C staat.
Het principe van de elektronische koude las compensatie is als volgt.




*Elektronische koude las compensatie. (© 2017 Jos Verstraten)*

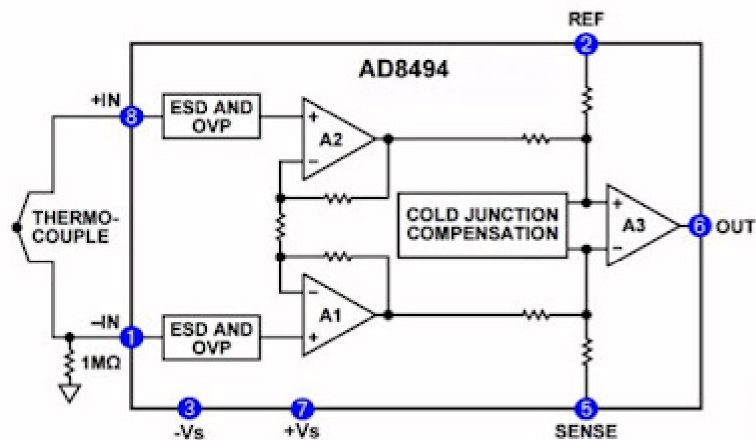
Het thermokoppel wordt rechtstreeks op de koperen ingangen van het IC aangesloten. In het IC is een speciale, gepatenteerde schakeling ondergebracht die een spanning genereert die proportioneel is met de omgevingstemperatuur waarop het IC staat. Deze schakeling is geijkt naar de specificaties van het gebruikte thermokoppel. De door de schakeling gegenereerde spanning staat in serie met de thermokoppel spanning. Op deze manier wordt de spanning die het koude thermokoppel in het systeem zou introduceren volledig nagebootst.
Wat dus aan de ingang van de meetversterker wordt aangeboden is niets anders dan de uitgangsspanning van het meetkoppel. Uit de bespreking van dit principe zal duidelijk zijn dat de compensatieschakeling op precies dezelfde temperatuur moet staan als de twee thermokoppels die ontstaan door het aansluiten van het meetkoppel op het IC. Dit stelt speciale eisen aan de opbouw van de ingangsschakeling.

## AD8494: thermokoppel versterker voor type-J koppels

**Introductie**
De AD8494 bevat een volledige instrumentatieversterker met koude las compensator voor gebruik met type-J koppels. De schakeling is geijkt met een schaal van 5 mV/°C en heeft een spanningsuitgang met een lage impedantie. In principe kan de schakeling reeds uit een

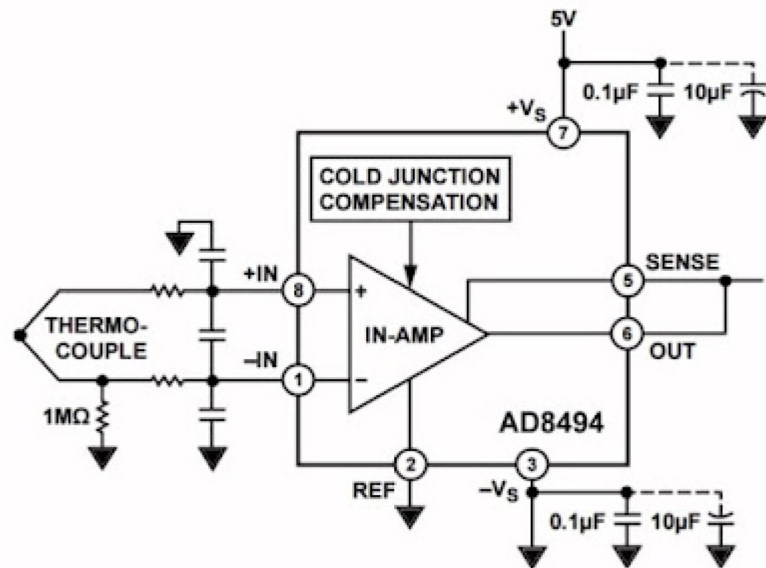
enkele voedingsspanning van slechts +3 V gevoed worden. Als u echter temperaturen tot + 1.000 °C wilt meten, moet u voeden uit minstens +5 V. Als u bovendien ook negatieve temperaturen wilt meten, moet u de schakeling symmetrisch voeden, waarbij de maximale voedingsspanningen ±18 V bedragen. Om de eigen opwarming van het IC te voorkomen, waardoor er temperatuurverschillen tussen de koude las compensator in de chip en de aansluitingen van het thermokoppel bij de chip zouden ontstaan, is het eigen stroomverbruik van de chip gereduceerd tot 180 µA. Hoewel de schakeling volledig door middel van lasertrimming wordt gekalibreerd op schaalfactor, nulpunt en compensatie, zijn aansluitingen aanwezig waarop weerstanden aangesloten kunnen worden voor het herkalibreren van de chip. De AD8494 heeft een nauwkeurigheid van typisch ±2°C.

**Intern blokschema**
Het thermokoppel wordt aangesloten tussen de pennen 1 en 8. Achter deze pennen zijn twee beveiligingsschakelingen opgenomen tegen elektrostatische spanningen tot 4 kV op de ingangen. De uitgangen van deze blokken zijn intern aangesloten op de ingangen van een differentiële versterker. Deze configuratie zorgt ervoor dat symmetrische stoorsignalen, zoals 50 Hz brom, volledig onderdrukt worden. De uitgangsspanning van de differentiële versterker wordt naar de ingang van de eindversterker gevoerd. In deze trap is ook de speciaal door Analog Devices ontwikkelde koude las compensator ingebouwd.



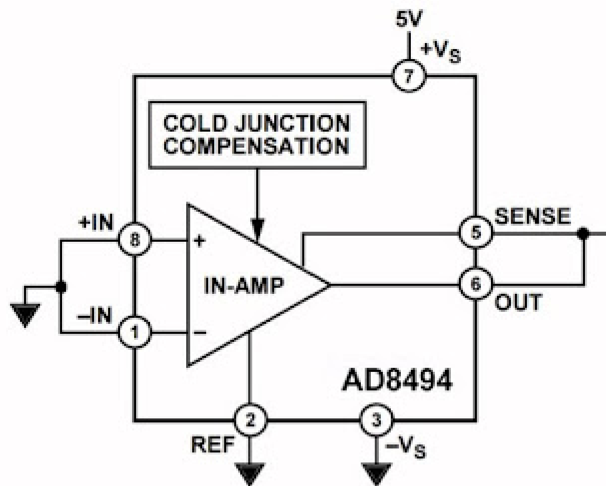
*Intern blokschema van de AD8494. (© Analog Devices)*

**Standaardschakeling met de AD8494**
Om de ingangen niet te laten zweven moet u een weerstand van 1 MΩ tussen de -IN en de massa opnemen. Beide ingangen worden ontkoppeld door middel van RC-netwerkjes. Ook de twee voedingsaansluitingen moeten, zo dicht mogelijk bij het onderdeel, worden ontkoppeld met condensatoren naar de massa. Let op de parallelschakeling van een tantaal (10 µF) en een ceramische (100 nF) condensator in deze ontkoppeling. Op de uitgang staat een gelijkspanning ter beschikking met een schaalfactor van 5 mV/°C.




*Standaard schakeling rond de AD8494. (© Analog Devices)*

**De AD8494 als thermometer**
Door het thermokoppel te verwijderen en beide ingangen kort te sluiten naar de massa, kunt u de AD8494 op een heel eenvoudige manier omvormen tot een thermometer met een bereik van -40 °C tot +125 °C. Ook nu bedraagt de schaalfactor 5 mV/°C.




*De AD8494 als thermometer. (© Analog Devices)*